

ZVEDACÍ MECHANISMY PRO MALÉ STAVEBNÍ OBJEKTY – KOMPARATIVNÍ METODA NA BÁZI OBJEMŮ A TYPOVÝCH ČASOVÝCH PLÁNŮ

LIFTING MECHANISMS FOR SMALL BUILDINGS – COMPARATIVE METHOD BASED
ON VOLUMES AND TYPE TIME SCHEDULES

Ing. Michal Brandtner, Jiří Králíček

ABSTRAKT

Stavebně technologická příprava je velice důležitou součástí výstavbového procesu. Volba nasazení hlavních zvedacích mechanismů je závislá na mnoha faktorech a kritériích jako jsou pozice jeřábu, charakteristiky přepravovaného břemene nebo ekonomické a časové kritéria. Zásadní pro efektivní volbu zvedacích mechanismů je porovnání zejména ekonomických a technologických kritérií stanovených při jejich nasazení během výstavby reálného stavebního objektu. Článek prezentuje vlastní přístup k posouzení vhodnosti malého zvedacího mechanismu na základě automatizovaného časového plánu v kombinaci s objemovou charakteristikou stavby. Pro demonstrování metody je uvedena případová studie a řešení dané problematiky formou porovnání dvou typů zvedacích mechanismů. Konkrétně jde o malý samostavitelný jeřáb a hydraulický manipulátor či drobný automobilový jeřáb. Je uvedena křivka nákladů pro každý mechanismus s přechodovým bodem znázorněným na řadě šesti malých staveb s různými stavebními prostory. Při rozloze 6030 m³ byl nalezen přechodový bod.

Klíčová slova: zvedací mechanismus, samostavitelný jeřáb, hydraulický manipulátor, stavebně technologická příprava, výběr jeřábu, malé staveniště, ekonomické kritérium

ABSTRACT

Construction technology preparation is a very important part of the construction process. The proper selection of the main lifting mechanisms depends on many factors and criteria such as crane position, load characteristics, economic criteria or time schedule possibilities. For the effective selection of small lifting mechanisms it is essential to compare candidates in particular the economic and technological criteria established during their deployment on the real construction. This paper presents own approach to assess the suitability of a small lifting mechanism for small construction based on an automated time schedule in combination with the volume characteristics of the structure. Case study comparing small self-erecting tower crane and mobile crane to prove the utility of this method is presented. A cost curve with a transition point depicted for a range of six small-scale structures with different building volumes is shown for each mechanism. A clear transition point was found at a building volume of 6030 m³.

Key words: lift mechanism; self-erected crane; hydraulic manipulator; construction preparation; crane selection; small construction; economic criteria

1 ÚVOD

Problematika zvedacích prostředků je jednou z podstatných částí stavebně technologické přípravy stavby. Volba vhodného mechanismu závisí na mnoha kritériích a závisí na široké škále okrajových

podmínek. V současnosti probíhá návrh zvedacího mechanismu typu jeřábů především samotným dodavatelem mechanizace. Okrajové podmínky jsou tedy zohledněny jen v omezené míře. Dodavatel má za cíl prodat svůj výrobek, jinými slovy může opomenout ekonomické kritérium. V současné době se v praxi v rámci návrhu využívá především metoda na základě posouzení vzdálenosti a hmotnosti břemen, kde jsou zpravidla zohledněny nezbytné okrajové podmínky, kterými jsou kromě maximálního dosahu ramene a maximální návrhové hmotnosti břemene také geotechnické poměry základového podloží, potenciál kolize s okolními objekty či logistické možnosti dopravy a montáže daného mechanismu. Při výběru konkrétního mechanismu mohou nastat případy, kde je možné za jednotných kritérií vybrat z více možností mechanizovaných prostředků. V tomto okamžiku se dostáváme do bodu, kdy je vhodné vybírat například na základě multikriteriálních metod.

1.1 Současný stav poznání mimo Českou republiku

Dosud prezentované příspěvky k návrhu zvedacích mechanismů mimo Českou republiku lze rozdělit do dvou skupin, a to metody pro návrh vhodné pozice jeřábu v rámci výrobního prostoru stavby a metody pro optimální výběr konkrétního typu zvedacího prostředku.

Ze současného stavu poznání první kategorie autoři publikovali článek [1], ve kterém vyvinuli nový algoritmus pro výběr a umístění jeřábu na staveništi. Algoritmus zohledňoval geometrické charakteristiky jeřábu, maximální zdvih, technické listy apod. Jedná se o graficky prezentovaný model s matematickým zápisem jednotlivých kroků algoritmu. Rovněž byly analyzovány dva scénáře s využitím algoritmu ve vlastním software. V příspěvku [2] autoři prezentovali metodiku pro umístění jeřábu na staveništi. Metoda obsahuje především matici výběru nekonfliktních vhodných pozic mechanismu. Metodika byla ověřena na studii pro velmi těžké břemeno 102 tun a výsledkem byl výběr dvou zvedacích mechanismů. Jiní autoři prezentovali článek [3], kde kombinovali algoritmus pro výběr optimálního umístění a rovněž výběr vhodného typu zvedacího mechanismu. Byl vytvořen 3D model se zónami, umístěním břemen a alternativním umístěním jeřábů. Břemena v případové studii vážily od 1,1 do 5,4 tun. Výstup byl demonstrován v grafické podobě 3D výběru optimální pozice a vizualizaci času na svislé ose (2D + čas).

Ze současného stavu poznání druhé kategorie autoři [4] prezentovali článek, ve kterém na základě získaných dat od stavebních manažerů ze sedmi výstavbových akcí, identifikovali faktory ovlivňující časy nasazení zvedacích mechanismů. Poté využili variantu na základě metody neuronových sítí a druhou metodu genetických algoritmů pro modelování potřebných časů. Výsledkem byl ověřený model, který vykazoval lepší výsledky pro genetický algoritmus. V příspěvku prezentovali autoři [5] prediktivní model na základě nelineárních neuronových sítí a lineárního regresního modelu, kde ověřili 15 proměnných pro předpověď optimálního výsledku časového nasazení jeřábu. Výsledkem porovnání metod byla metoda neuronových sítí potvrzena jako přesnější (přesnost $\pm 2\%$) oproti regresnímu modelu (+2%; -8%). V článku [6] autoři prezentovali optimalizační model, členěn do kategorií založení, návrh a zavětrování jeřábu, a náklady na jeřáb samotný. Kritériem byla minimální suma nákladů všech kategorií. Tento model však nepracuje s konkrétními hmotnostmi břemen.

1.2 Současný stav poznání v České republice

V minulosti byly vyvinuty různé metodiky a postupy návrhu zvedacího mechanismu pro logistické účely stavenišť v rámci České republiky. V příspěvku [7] byla prezentována metoda, využívající ukazatel obestavěného prostoru realizovaného objektu za jednotku času. V jiném článku autoři [8] prezentovali souhrn doposud využívaných metodik při návrhu zdvihacího mechanismu. Metoda využívající ukazatel počtu obsluhovaných pracovníků, jejichž činnost vyžaduje obsluhu jeřábem, se určí počet potřebných jeřábů. Autoři se u této metody nezabývají různými typy jeřábů. Metoda

využívající ukazatel obestavěného prostoru realizovaného objektu za jednotku času zohledňuje kolik m³ obestavěného prostoru lze postavit při zásobování jedním jeřábem za určitou časovou jednotku. Tato metoda také nezohledňuje typ jeřábu. Metoda využívající ukazatel hmotnosti přemísťovaného materiálu za jednotku času udává kolik kN materiálu je možné přepravit jedním jeřábem za jednotku času. V této metodě ovšem také není zohledněn typ mechanismu. Metoda využívající ukazatel objemu, případně hmotnosti rozhodujících materiálů za jednotku času vychází z objemu či hmotnosti rozhodujících materiálů pro přepravu, které je nutné přepravit v daném časovém úseku. Metoda návrhu jeřábu podle normativů doby trvání procesů obsluhovaných jeřábem je postavena na zjištění normativních časů pro činnosti obsluhované jeřábem, ze kterých se poté určí doba trvání těchto činností. Jedná se o metodu, která má za cíl stanovit počet mechanismů. Metoda odhadu potřebné doby nasazení jeřábu předpokládá, že 80 % materiálu vyskytujících se na stavbě bude přepraveno jeřábem a funguje na principu stanovení hustoty budovaného objektu. Metoda využívající teorii hromadné obsluhy je založena na přesném namodelování pohybů jednotlivých zdvihacích mechanismů, a to ve třech základních skupinách. První skupina zohledňuje činnosti vyžadující plnou časovou kapacitu jeřábu, druhá skupina činnosti nevyžadující plnou kapacitu jeřábu a třetí skupina jen činnosti s atypickými nároky na zvedací mechanismus. Další článek [9] zohlednil možnosti velikosti stavby pomocí tzv. typových časových plánů, ale věnoval se především vazbami na sebe navazujících procesů a s nimi spojených časových a technologických návazností dílčích stavebních procesů. Metodika nebyla ověřena na žádné případové studii.

2 METODY

Z výše uvedených referencí lze obecně odvodit, že se autoři zaměřovali především na větší stavební celky. Algoritmy jsou založeny především na neuronových sítích a genetických algoritmech, kde podstatnou roli hraje velká kombinační škála možných řešení. Malé stavby jsou v rámci nasazení zvedacích mechanismů opomíjeny a je zde rovněž mezera v literatuře.

2.1 Komparativní metoda na bázi objemů a typových časových plánů

Komparativní metoda jako taková je již používanou metodu na staveništi, vycházející ze zkušeností konkrétního vedoucího pracovníka. Princip metody spočívá v porovnání nasazených mechanismů z hlediska jejich finančního a časového nasazení. Problematická se tato metoda stává v případě, že porovnání je omezeno pouze malým výběrem alternativ. Toto vzniká v důsledku nedostatečného času pro výpočet či omezenými schopnostmi stavebního manažera pracovat s analytickými daty a algoritmy. To byl důvod pro vytvoření škály typových modelů pro malé stavební objekty o různých objemech. Předpokladem pro možnost využití prezentované metody je využití při stavbách drobného charakteru za konkrétních okrajových podmínek, stanovených níže. Prezentovaná metoda zároveň nezohledňuje výběr optimální pozice zvedacího prostředku v rámci staveniště. To je nutno řešit jinou formou v předchozím kroku, případně vhodným stavebně technologickým návrhem. Smyslem metody je stanovení referenčního objektu, na základě kterého lze v kombinaci s objemovými charakteristikami dále stanovit škálu dalších modelových objektů různých velikostí. Ty následně mohou sloužit jako podklad pro další obdobné projekty.

2.2 Stanovení obecných podmínek

Pro navrženou metodu byly stanoveny podmínky, které je nutno při každém návrhovém modelu zohlednit, posoudit nebo případně zdůvodnit, proč zohledněny nebyly:

- Časové podmínky
- Ekonomické podmínky

- maximální možné břemeno, které je posuzovaný mechanismus schopen přenést
- maximální možný dosah posuzovaného mechanismu
- vhodný vertikální manipulační prostor
- půdorysný (horizontální) manipulační prostor mechanismu

2.3 Stanovení okrajových podmínek pro konkrétní objekt (bytový dům) a zvolené mechanismy

- Hydraulická ruka zvoleného manipulátoru slouží pouze jako zvedací mechanismus (využití hydraulické ruky osazené na valníku) a není uvažováno pro tento stroj využití pro mimostaveništní dopravu.
- Malý samostavitelný jeřáb bude na stavbě nasazen po celou dobu výstavby, hydraulický manipulátor pouze pro důležité činnosti vyžadující přesun pomocí mechanizace.
- Srovnávání referenčního objektu a objektů odvozených se stanoví procenty. To znamená, že referenční objekt odpovídá 100 % objemu a odvozené objekty o objemech s krokem 25% až 50% (např. 50 %, 75 %, 125 %, 150 %, 200 %), kterým odpovídá i zvolený počet bytů.
- Všechny objekty disponují stejným konstrukčním systémem (materiál) a se stejným postupem (technologí) výstavby.
- Srovnává se pouze hrubá stavba referenčních a odvozených objektů.
- Zvolený počet bytů (x_1-x_n) - odpovídá objemu V_1 až v_n [m^3].
- Předpoklad ceny pronájmu, dopravy a montáže porovnávaných mechanismů je dán v závislosti na lokalitě referenčního objektu a příslušných cenách nejbližšího možného dodavatele.
- Do výpočtu nebyla kalkulována cena za použitý materiál ani za dopravu materiálu na staveniště.
- Materiál je již připraven k přesunu na staveništi pro oba porovnávané mechanismy (okrajová podmínka zobrazující pouze srovnávaný rozdíl přesunu materiálu vlivem nasazení dvou různých mechanismů). Je zanedbána doba přesunu materiálu na staveniště, protože je pro oba posuzované mechanismy totožná.
- Porovnávané nasazení mechanismů je uvažováno pouze pro účely dopravy materiálu po staveništi z tzv. první staveništní skládky do místa technologické manipulace.
- Omezení maximální hmotnosti jednoho břemene je 1300 kg.
- Při časovém nasazení mechanismů byla volena minimální časová jednotka 1 hodina a 8 hodinová pracovní směna.

3 VÝSLEDKY (PŘÍPADOVÁ STUDIE BYTOVÉHO DOMU)

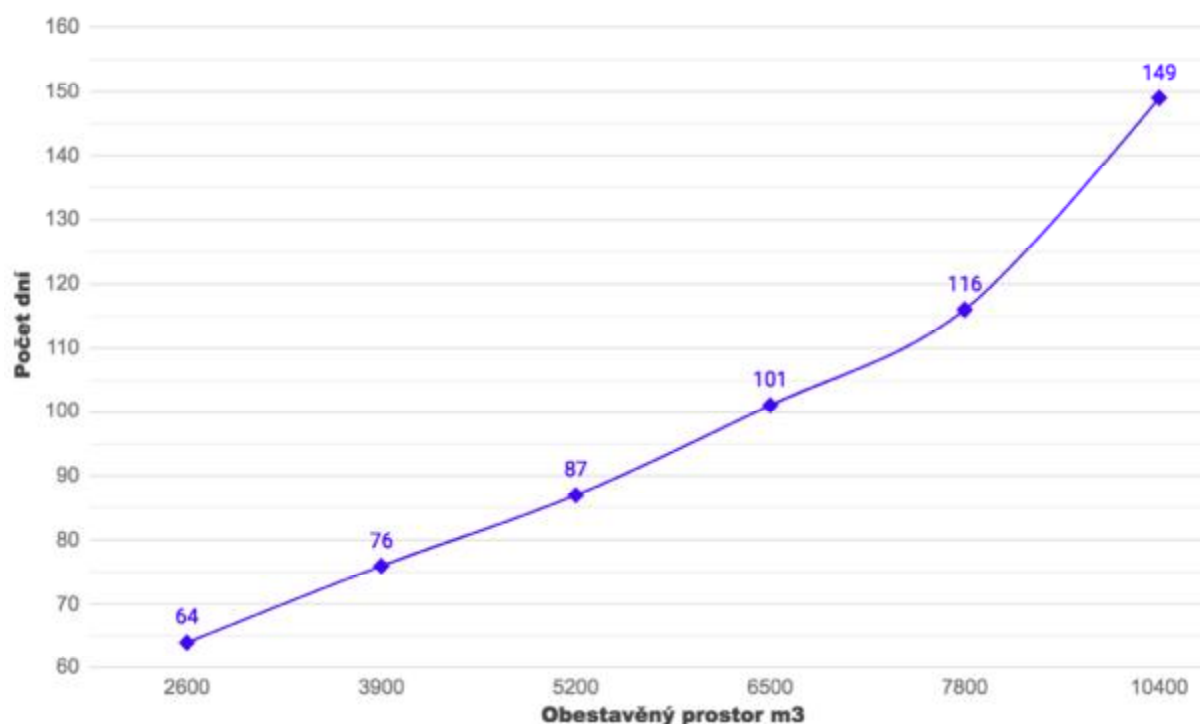
Pro ověření zvolené metody (postupu provádění) byla ověřena nová komparativní metoda na bázi objemů a typových časových plánů pro konkrétní stavbu polyfunkčního domu v Otrokovicích. Tento výpočet je konkrétní a slouží pouze jako výpočtový model. Tento objekt bude sloužit jako referenční - to znamená se 100 % s obestavěným prostorem 5200 m^3 . Další objekty o různých objemech obestavěného prostoru budou fiktivního charakteru, sloužící pouze pro srovnání výběru vhodného typu mechanizace. Obecným předpokladem je rozdíl v použití mechanismů, které srovnáváme. Samostavitelný jeřáb bude na stavbě po celou dobu výstavby vybrané etapy, ale hydraulický manipulátor (nebo malý autojeřáb) bude přítomen pouze na klíčové procesy, jakými mohou být zdění, pokládka bednění, uložení výztuže, apod.

Pro výpočet ekonomické výhodnosti mechanismu pro objekty s různým obestavěným prostorem bylo nutné nejprve vybrat jednotlivé mechanismy a určit jejich náklady, které je možné vidět v Tabulce 1. Náklady na elektrickou energii jsou počítány z ceníkové ceny dodavatele energie 3,9Kč/kWh, kdy samostavitelný jeřáb spotřebuje 160 kWh /den elektrické energie. Jako samostavitelný jeřáb byl vybrán Liebherr 35K. Pro variantu autojeřáb byl vybrán TEREX DEMAG AC 25 CITY. Tyto konkrétní typy se mohou dle potřeby měnit na základě lokální dostupnosti.

| | Pronájem [Kč / den] | Cena za montáž [jednorázová] | Náklady na obsluhu stroje [Kč / den] | Náklady na el. energii [Kč / den] |
|--|---------------------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Náklady pro samostavitelný jeřáb | 1100 | 20000 | 1960 | 624 |
| Náklady pro manipulátor (autojeřáb) | 5600 | součástí ceny pronájmu | 1840 | součástí ceny pronájmu |

Tab. 1 Náklady pro jednotlivé typy mechanismů

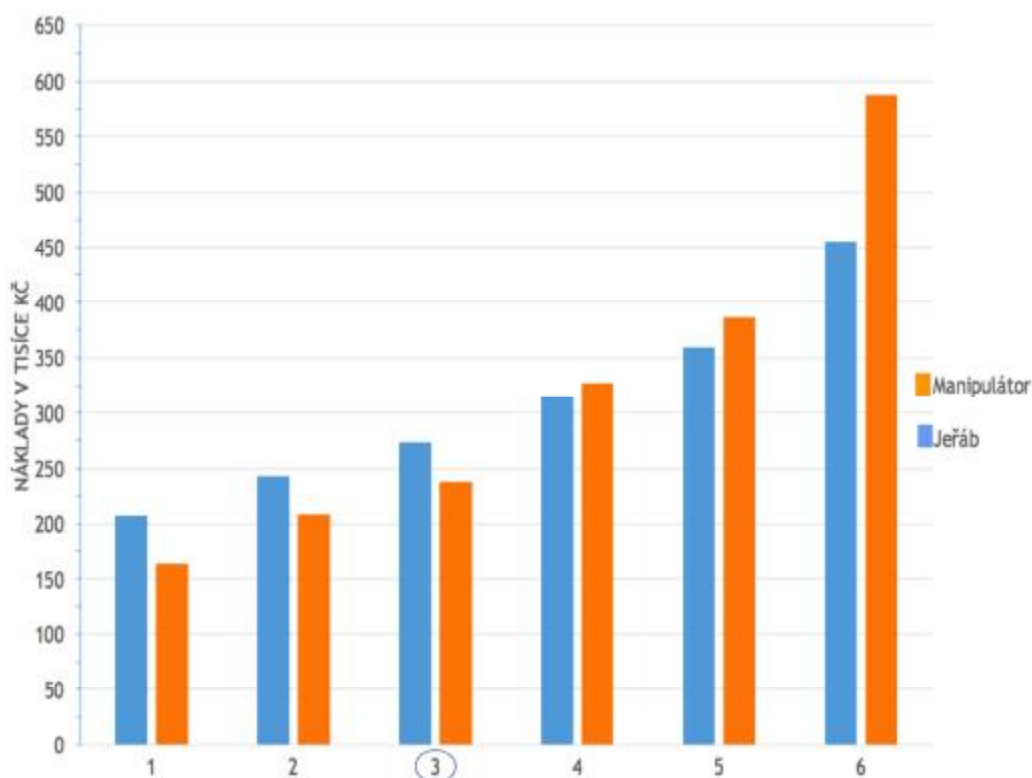
Následně, po určení nákladů, je potřeba expertně stanovit počet dní kdy bude využit samostavitelný jeřáb a kdy autojeřáb při stavebních pracích. Toto třídění musí provést kompetentní inženýr či stavbyvedoucí se zkušeností s organizací konkrétní stavby. Počet dní lze určit rovněž z programů pro časové plánování staveb. Nejprve si podle pravidel na tvorbu časového plánování staveb vytvoříme harmonogram pro referenční objekt. Pro ostatní referenční objekty vynásobíme součinitelem objemu objektu dobu trvání činností v harmonogramu. Například pro objekt o objemu 150% vynásobíme původní objem číslem 1,5. Takto postupujeme pro všechny objekty. Doba technologických přestávek bude u všech objektů stejná, takže obecně se dá říct, že doba výstavby neroste lineárně s obestavěným prostorem - nelinearita závislosti objemu stavby na době výstavby graf na Obr. 1. Z grafu lze vyčíst celkovou dobu výstavby pro každý objekt.



Obr. 1 Nelinearita závislosti obestavěného prostoru na době výstavby

Byl zjištěn počet dní pro každý objekt, ve kterých bude konkrétní jeřáb pracovat. Počet dní pro autojeřáb zjistíme tak, že vybereme v harmonogramu každého objektu počet dní, kdy v průběhu procesu bude přítomen. Vybereme pouze dny, ve kterých probíhá zdění, osazování překladů, montáž bednění a uložení výztuže.

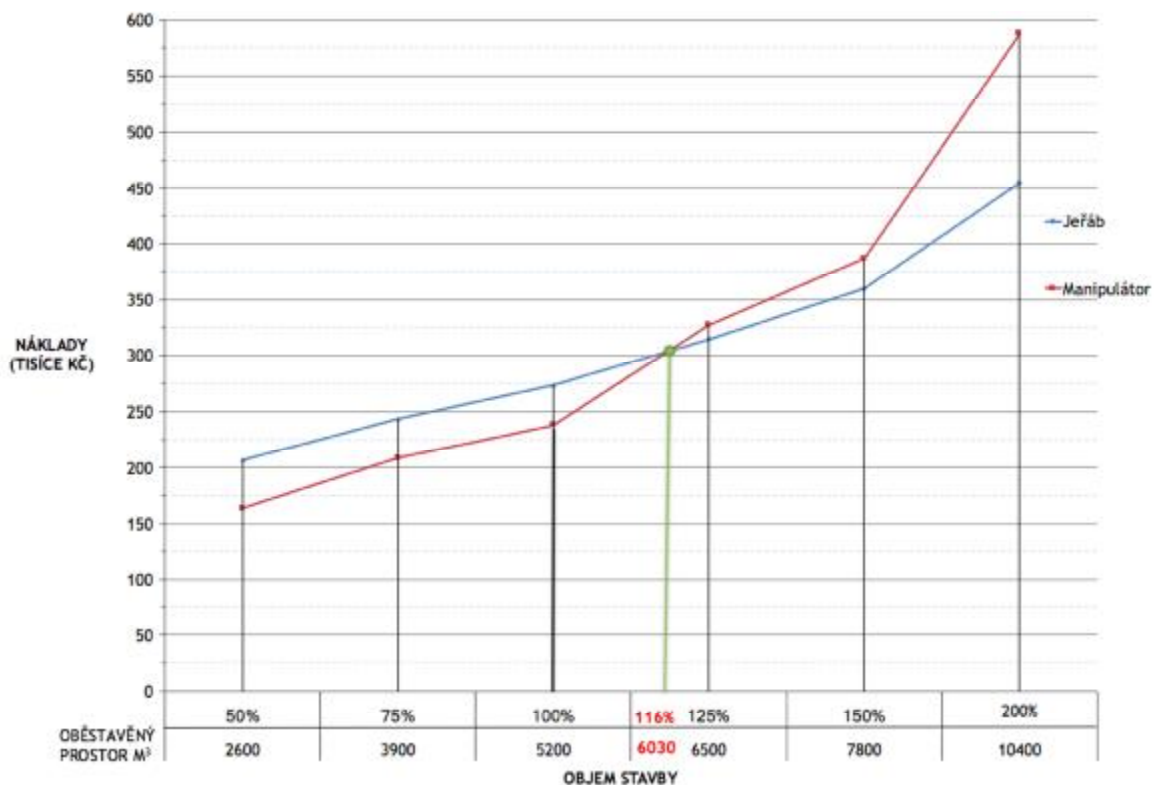
Nyní můžeme vynásobit počet dní a náklady na den jednotlivými mechanismy. Pro použití stacionárního jeřábu se uvažuje, že náklady na obsluhu a energie budou započítány pouze v pracovní dny. Náklady pro každý objekt jsou shrnuty ve srovnávacím sloupcovém ekonomickém grafu na Obr. 2 a v souhrnné Tab 2. Číslo referenčního objektu je v grafu označeno kolečkem. V tabulce Tab. 2 je zřejmý rozdíl nákladů jeřábu a manipulátoru, kdy pro varianty objemů od 50% do 100% vycházejí ekonomicky výhodněji pro manipulátor, tzn. čísla rozdílů jsou kladná a naopak pro objemy 125% až 200% je patrná ekonomická výhodnost jeřábu, vyznačena v tabulce č.2 zápornými hodnotami.



Obr. 2 Srovnání nákladů mechanismů u jednotlivých objektů

| Objem objektu | Počet prac. dnů dle čas. plánu | Samostavitelný jeřáb | | | Hydraul. manipulátor (autojeřáb) | | Rozdíl nákladů [jeřáb mínus autojeřáb] |
|---------------|--------------------------------|----------------------|--------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------|--|
| | | Počet nasazených dnů | Náklady [Kč] | Potřeba elektrické energie [kWh] | Počet nasazených dnů | Náklady [Kč] | |
| 50% | 64 | 45 | 206680 | 7200 | 22 | 163680 | 43000 |
| 75% | 76 | 54 | 243136 | 8640 | 28 | 208320 | 34816 |
| 100% | 87 | 61 | 273324 | 9760 | 32 | 238080 | 35244 |
| 125% | 101 | 71 | 314564 | 11360 | 44 | 327360 | -12796 |
| 150% | 116 | 82 | 359488 | 13120 | 52 | 386880 | - 27392 |
| 200% | 149 | 105 | 455220 | 16800 | 79 | 587760 | - 132540 |

Tab. 3 Souhrnná tabulka času a nákladů porovnávaných mechanismů pro jednotlivé objekty



Obr. 4 Křivka nákladů mechanismů u jednotlivých objektů se zobrazením bodu přechodu

Pro lepší interpretaci výsledků je potřebné vybrat jiný typ grafu, ve kterém lze vyčíst, v jaké hodnotě obestavěného prostoru lze teoreticky uvažovat oba dva typy mechanismu za vynaložení stejných nákladů. Z obrázku č. 3 lze odvodit, na základě průběhu křivky nákladů obou mechanismů, jednotlivé rozdíly.

4 ZÁVĚR A DISKUZE

Výsledek studie demonstroval, že v tomto konkrétním případě vychází ekonomicky lépe pro referenční objekt manipulátor (autojeřáb), který bude na stavbě přítomen pouze v některé dny. Pro objekt, který je dvakrát většího obestavěného prostoru (např. dům občanské vybavenosti), se ekonomicky vyplatí použití samostavitelného jeřábu, který bude nasazen po celou dobu výstavby.

Výpočet slouží jako výpočtový model, který lze aplikovat na různé typy objektů za jiných okrajových podmínek. Pro reálnou představu o výběru vhodné mechanizace je v článku uveden konkrétní výpočet. Zvolením jiných okrajových podmínek (např. náklady na mechanismy, technologie výstavby apod.) lze docílit odlišného výsledku výběru mechanismu.

V praxi lze tento výpočtový model použít pro zhotovitele stavby, který se rozhoduje, jaký typ mechanismu bude ekonomicky výhodnější. Zhotovitel pouze zadá jiné vstupní údaje do výpočtu.

Možnosti budoucího výzkumu se nabízí v aplikaci výběru optimální pozice zvedacího prostředku v rámci staveniště do prezentované metody, například pomocí dosud prezentovaných metod, jakými jsou neuronové sítě či genetické algoritmy v kombinaci s digitálním 3D modelem staveniště pomocí metodiky BIM (Building Information Modelling) a za využití tzv. „Active BIM“ systémů, kde za využití 3D modelu a informací v něm obsažených mohou být doplněny o „aktivní“ výpočetní algoritmus, ať už na bázi matematických či heuristických optimalizačních metodách.

Poděkování

Výzkum a výsledky, prezentované v tomto článku byly dosaženy za podpory projektu Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR – TRIO, číslo FV10078 - Rozvoj retenčních materiálů na bázi recyklátu technologicky kombinované stavební vegetační konstrukce pomocí naměřených dat s verifikací na výseku prototypu.

Použitá literatura

- [1] Wu, D.; Lin, Y.; Wang, X.; Wang, X.; Gao, S., Algorithm of Crane Selection for Heavy Lifts, *Journal of Computing in Civil Engineering*; Vol. 25; Issue 1; pp 57-65, 2011
- [2] Han, S. H.; Hasan, S.; Lei, Z.; Altaf, M. S.; Al-Hussein, M.; A Framework for crane selection in Large-Scale Industrial Construction Projects; *ISARC 2013 - 30th International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining, Held in Conjunction with the 23rd World Mining Congress*; pp. 387-394; 2013
- [3] Yeoh, Y. W. J.; Chua, D. K. H.; Optimizing Crane Selection and Location for Multistage Construction Using a Four-Dimensional Set Cover Approach; *Journal of Construction Engineering and Management*; Vol.143; Issue 8; 2017
- [4] Leung A. W. T.; Tam, C.M.; Liu., D. K., Comparative study of artificial neural networks and multiple regression analysis for predicting hoisting times of tower cranes, *Building and Environment*, Vol. 36, Issue 4, pp. 457-467, 2001
- [5] Tam, C.M.; Leung A. W. T.; Liu., D. K., Nonlinear Models for Predicting Hoisting Times of Tower Cranes, *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 16, Issue 1, pp. 76-81, 2002
- [6] Sohn, H.W., Hong, W.K., Lee, D., Lim, C.-Y., Wang, X., Kim, S.; Optimum tower crane selection and supporting design management; *International Journal of Advanced Robotic Systems*; Vol. 11; Issue); 2014
- [7] Motyčka, V., Černý, J., *Věžové jeřáby v pozemním stavitelství*, Brno, CERM, Czech republic, 2007, ISBN 978-80-7204-505-1
- [8] Štěrba, M.; Motyčka, V.; Čech, D.; Venkrbec, V. Základní postup při návrhu zvihačího mechanismu. *Silnice a železnice*, 2013, Vol. 8, Issue 03/2013, pp. 94-95. ISSN 1801-822X
- [9] Motyčka, V.; Klempa, L., *Modelling of tower cranes performance* , článek v *International journal of interdisciplinarity in theory and practice*, ISSN 2344-2409, Editura Adoram, Romania, 2016
- [10] Galić, M.; Venkrbec, V.; Chmelik, F.; Feine, I.; Pučko, Z.; Klanšek, U. Survey of accomplishments in BIM implementation in Croatia, the Czech Republic, Germany, and Slovenia. *Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek-e-GFOS*, vol.8, issue.15, pp. 23–35, 2017, <https://doi.org/10.13167/2017.15.3>